

ISSN 0002–354X (print)

УДК 541.64:66.081.6-278:544.77

Поступило в редакцию 19.10.2016

Received 19.10.2016

**Т. В. Плиско<sup>1</sup>, академик А. В. Бильдюкевич<sup>1</sup>, Я. А. Исайчикова<sup>1</sup>, В. В. Волков<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск,  
Республика Беларусь*<sup>2</sup>*Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева Российской академии наук, Москва,  
Российская Федерация*

## ПОЛУЧЕНИЕ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФОНА И ПОЛИСУЛЬФОНА

Установлена взаимосвязь структуры и фазового состояния растворов смесей полифениленсульфона (ПФС) и полисульфона (ПС) и транспортных свойств ультрафильтрационных мембран, полученных на их основе: удельная производительность мембран на основе смесей ПФС и ПС проходит через максимум в области наиболее гетерогенной структуры формовочной композиции при соотношении полимеров в смеси ПФС : ПС = (30–50) : (70–50), и достигает значений 80–87 л · м<sup>-2</sup> · ч<sup>-1</sup>, что значительно превосходит характеристики мембран, опубликованные в литературе к настоящему времени.

**Ключевые слова:** мембраны, ультрафильтрация, полифениленсульфон, полисульфон, смеси полимеров.

**T. V. Plisko<sup>1</sup>, Academician A. V. Bilydukevich<sup>1</sup>, Y. A. Isaichykava<sup>1</sup>, V. V. Volkov<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*<sup>2</sup>*Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

## PREPARATION OF POLYPHENYLSULFONE/POLYSULFONE BLEND MEMBRANES

The correlation between the structure and phase state of the solutions of polyphenylsulfone (PPSU) and polysulfone (PSF) blends and the transport properties of ultrafiltration membranes, prepared from these solutions, is revealed: pure water flux of the PPSU/PSF blend membranes passes through the maximum at the most heterogeneous structure of polymer solutions at the PPSU : PSF blend ratio (30–50) : (70–50). In this study, the maximum pure water flux achieves 80–87 l · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>, which significantly exceeds the data reported in the literature up-to-date.

**Keywords:** membrane, ultrafiltration, polyphenylsulfone, polysulfone, polymer blends.

**Введение.** Одним из перспективных классов синтетических полимеров для получения пористых мембран являются полисульфоны, в частности полифениленсульфон. Полифениленсульфон (ПФС) характеризуется более высокой химической стойкостью, устойчивостью к гидролизу и действию органических растворителей (ароматических углеводородов, простых эфиров, кетон) по сравнению с полисульфоном (ПС) и полиэфирсульфоном [1]. ПФС обладает высокой термической стабильностью в течение длительного срока эксплуатации, механической прочностью и устойчивостью к деформациям [2]. Известны работы по получению и исследованию мембран на основе ПФС для нанофильтрации органических растворителей [3; 4], переработки для разделения уксусной кислоты и воды [5; 6], очистки воды от ионов тяжелых металлов [7], очистки поверхностных и сточных вод [8], газоразделения [9], получения мембран для топливных элементов [10]. Однако примеров использования мембран на основе ПФС в промышленности не выявлено, что связано с низкой удельной производительностью полученных материалов [7], гидрофобностью и, как следствие, подверженностью загрязнению (абсорбция растворенного вещества, образование гелеобразного слоя на поверхности мембраны) в процессе фильтрации [11].

Одним из методов улучшения эксплуатационных свойств мембран (удельной производительности, селективности, устойчивости к загрязнению) является введение различных добавок в формовочную композицию, например, добавок второго мембранообразующего полимера, т. е. получение мембран на основе смесей полимеров. Смешение мембранообразующих полимеров является простым, воспроизводимым и эффективным методом модификации мембран. Сообщается о получении мембран на основе ПФС и полиимида [3], ПФС и сульфированного ПФС [11], ПФС и ПС [7], ПФС и полиэфиримида [12], ПФС и ПФС/поли (бисфенол А-со-4-нитрофталеваый ангидрид-со-1,3-фенилендиамин) (ПБНФА) [9].

Цель работы – исследование зависимости структуры и свойств растворов смесей ПФС и ПС в N-метил-2-пирролидоне (МП) и мембран, полученных на их основе, от соотношения полимеров в смеси.

**Материалы и методы исследования.** В качестве исходных реагентов для получения растворов ПФС и ПС использовали ПФС Ultrason P 3010 ( $M_w = 48000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ , BASF, Германия), ПС Ultrason S 6010 ( $M_w = 45000\text{--}55000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ , BASF, Германия). В качестве растворителя применяли МП. В качестве порообразователя использовали полиэтиленгликоль (ПЭГ-400,  $M_n = 400 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ , BASF, Германия). Приготовление растворов для формования плоских мембран осуществляли на лабораторной установке, состоящей из механической верхнеприводной мешалки, круглодонной колбы и электроплитки с глицериновой баней.

Для получения плоских мембран на основе систем ПФС–МП, ПС–МП, ПФС–ПЭГ-400–МП, ПФС/ПС–МП, ПФС/ПС–ПЭГ-400–МП формовочный раствор наносили на стеклянную подложку с помощью фильеры, позволяющей получать полимерную пленку требуемой толщины. Подложку с нанесенным слоем формовочного раствора погружали в коагуляционную ванну (осадитель – дистиллированная вода). Полученные мембраны хранили в дистиллированной воде 24 ч для удаления остатков растворителя.

Для измерения вязкости растворов ПФС и ПС использовали ротационный вискозиметр Brookfield DV III-Ultra (США). Мутность растворов измеряли на турбидиметре 2100AN производства HACH (Германия) с вольфрамовой лампой накаливания в качестве источника света при  $\lambda = 860 \text{ нм}$ .

Для характеристики надмолекулярной структуры растворов полимеров, использовали метод спектра мутности [13], который позволяет определять средние размеры и концентрацию надмолекулярных частиц (НМЧ) в полимерном растворе, не подвергая систему какому-либо внешнему воздействию. Спектр оптической плотности  $D(\lambda)$  растворов смеси полимеров определяли на спектрофотометре Metertech UV/VIS P 8001 в диапазоне длин волн 400–800 нм, длина оптического пути – 5 см. Показатель преломления растворов полимеров определяли на универсальном лабораторном рефрактометре RL-3 (Польша). Для смеси полимеров показатель преломления рассчитывали по аддитивной схеме (правило Гладстона–Дейла) по показателям преломления составляющих смесь полимеров с учетом их соотношения [14]:

$$n_{\text{общ}} = n_1\varphi_1 + n_2\varphi_2 + \dots + n_N\varphi_N,$$

где  $n_{\text{общ}}$  – показатель преломления смеси;  $n_1, n_2, n_N$  – показатели преломления компонентов смеси;  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_N$  – объемные доли компонентов в смеси.

Для исследования структуры растворов на основе ПФС и ПС, а также растворов смесей ПФС/ПС в МП использовали металлографический инвертированный микроскоп OLYMPUS GX41 (Япония), который предназначен для работы в светлом поле и при поляризации. Для приготовления образцов тонкую пленку полимерного раствора наносили на предметное стекло, накрывали покровным стеклом и выдерживали 20 ч.

Измерение удельной производительности ( $J$ ) плоских мембран по воде проводили на специально сконструированной фильтрационной ячейке при комнатной температуре и трансмембранном давлении 1 атм. Удельную производительность мембран определяли как объем жидкости  $V$ , проходящей через единицу площади поверхности  $S$  за единицу времени  $t$ , ( $\text{л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ )

$$J = \frac{V}{St},$$

где  $V$  – объем фильтрата, л;  $S$  – площадь мембраны,  $\text{м}^2$ ;  $t$  – время фильтрации, ч.

В качестве модельного раствора для определения коэффициента задерживания мембран ( $R$ ) использовали 0,05 %-ный раствор человеческого сывороточного альбумина (ЧСА,  $M_n = 69000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ ,  $pI = 4,6$ ) в 0,18 М фосфатном буфере ( $\text{K}_2\text{HPO}_4 - \text{KH}_2\text{PO}_4$ ) с буферной емкостью  $\beta = 0,1$  и  $pH = 7,0$ . Коэффициент задерживания мембран ( $R$ ) определяли по формуле

$$R = \left( 1 - \frac{C_{\text{ф}}}{C_{\text{исх}}} \right) 100 \%,$$

где  $C_{\text{ф}}$ ,  $C_{\text{исх}}$  – концентрация ЧСА в фильтрате и исходном модельном растворе соответственно. Концентрацию ЧСА в растворах определяли по значению оптической плотности на спектрофотометре Metertech SP8001 при  $\lambda = 280 \text{ нм}$ .

Морфологическую структуру мембран исследовали посредством сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) LEO 1420 (Германия). Сколы образцов мембран готовили методом криогенного разлома в жидком азоте с последующим нанесением слоя золота путем катодного распыления в вакуумной установке ЕМІТЕСН 550Х.

Краевой угол смачивания плоских мембран определяется методом прикреплённого пузырька. Величины влагосодержания мембран ( $U$ ) определялись по измерению массы образцов до и после сушки по следующему уравнению:

$$U = \left( \frac{m_{\text{влажн}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{влажн}}} \right) 100 \%,$$

где  $m_{\text{влажн}}$ ,  $m_{\text{сух}}$  – масса соответственно влажного и сухого образцов мембран, г.

**Результаты и их обсуждение.** Установлено, что 20 %-ные растворы индивидуальных полимеров и смесей ПФС и ПС в МП являются оптически прозрачными (значения мутности находятся в пределах 1,4–1,6 NTU), что связано с близкими значениями показателей преломления ПФС (1,67) и ПС (1,63). При введении в систему второго полимера ее мутность практически не изменяется.

Растворы смесей ПФС и ПС в МП устойчивы в течение длительного времени во всем диапазоне соотношений ПФС и ПС. Не выявлено изменения вязкостных свойств и характера кривых течения растворов смесей ПФС и ПС во всем диапазоне соотношений полимеров в смеси.

Методом спектра мутности произведена оценка среднего размера и концентрации НМЧ в растворах смесей ПФС и ПС. Установлено, что в растворах индивидуальных ПФС и ПС наблюдается наименьший размер частиц и наибольшая их концентрация по сравнению с растворами смесей полимеров (рис. 1). Установлено, что для 20 %-ного раствора ПФС в МП размер НМЧ несколько больше (76 нм), а их количество ( $1,8 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ ) в 1,3 раза меньше по сравнению с раствором ПС в МП (65 нм,  $2,4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ ). Это может свидетельствовать о различном качестве растворителя для ПФС и ПС. По-видимому, в случае ПФС образуется больше контактов полимер–полимер, по сравнению с растворами ПС в МП.

При введении второго полимера в систему наблюдается существенное увеличение средних размеров НМЧ (170–354 нм) и уменьшение их количества на 2–3 порядка ( $2,6 \cdot 10^7$ – $3,3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$ ) по сравнению с растворами индивидуальных полимеров в МП. Зависимость размеров НМЧ и их концентрации от соотношения ПФС : ПС в смеси носит экстремальный характер. Наибольший размер частиц и наименьшее их количество наблюдается в диапазоне соотношений ПФС : ПС в смеси (40–60 : 60–40).

Исследование тонких пленок растворов смесей ПФС и ПС методом оптической микроскопии показало, что растворы являются гомогенными во всем диапазоне соотношения ПФС и ПС, что коррелирует с результатами измерения их мутности. Однако при выдерживании пленок в тече-

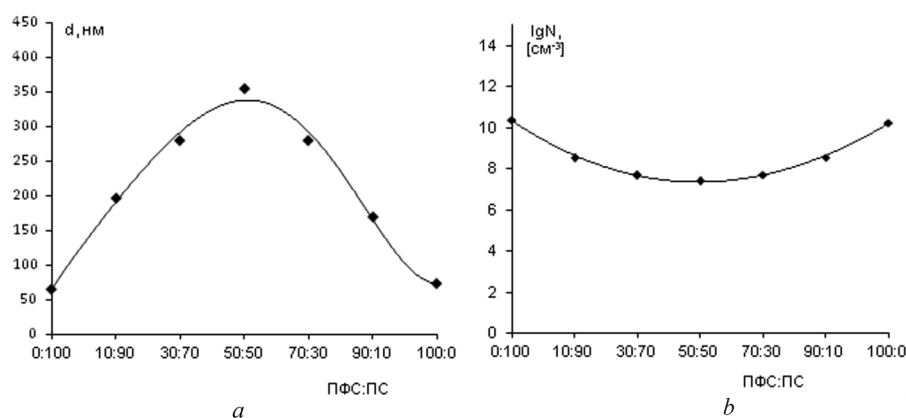


Рис. 1. Средний размер (a) и концентрация (b) НМЧ как функция соотношения ПФС : ПС в растворе состава 20 %-ных полимеров в МП

Fig. 1. Mean size (a) and concentration (b) of supramolecular particles as a function of the ratio of polyphenylsulfone and polysulfone in the 20 % solution of polymers in N-methyl-2-pyrrolidone

ние 20 ч под стеклом, т. е. при медленном осаждении полимера в результате абсорбции влаги воздуха, выявлены существенные различия в структуре растворов в зависимости от соотношения ПФС и ПС в смеси. В данном случае под действием влаги воздуха происходит «проявление» структуры раствора. Растворы смесей ПФС и ПС представляют собой двухфазные системы, что характерно для несовместимых полимеров. Если растворы индивидуальных полимеров характеризуются гомогенной структурой и разделение системы на фазы при абсорбции влаги воздуха в течение 20 ч не выявлено (рис. 2, *a, d*), то растворы смесей ПФС и ПС представляют собой эмульсии раствора одного полимера в фазе раствора другого полимера (рис. 2, *b, c*). Растворы смесей ПФС и ПС в МП при содержании ПС в смеси до 60 % характеризуются широким распределением капель эмульсии по размерам (рис. 2, *b*), при этом количество капель и их размер возрастают с увеличением содержания ПС. Раствор смеси ПФС и ПС в МП при соотношении 40 : 60 представляет собой множественную эмульсию, в которой наряду со сферическими каплями, состоящими только из одной фазы, содержатся капли с включениями мелких капелек другой фазы (рис. 2, *c*). В области соотношения ПФС : ПС = 30 : 70 система состоит из взаимопроникающих капель эмульсии, в которой невозможно выделить дисперсную фазу и дисперсионную среду. Наибольший размер капель и наибольшая полидисперсность эмульсии наблюдается при соотношении ПФС : ПС = (30–60) : (70–40). Растворы с содержанием второго полимера в смеси 10 % характеризуются самыми мелкими каплями с узким распределением капель по размерам.

Из исследуемых растворов были получены плоские мембраны для ультрафильтрации способом мокрого формования. Показано, что при введении 10 % ПФС в формовочную композицию на основе ПС и 30 % ПС в систему на основе ПФС наблюдается переход от непроницаемой структуры ( $J = 0 \text{ л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ ) к пористой структуре селективного слоя мембраны ( $J = 61$  и  $33 \text{ л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$  соответственно) (рис. 3). Удельная производительность мембран по воде, полученных на основе растворов смесей ПФС и ПС, проходит через максимум при соотношении полимеров в смеси ПФС : ПС = (30–50) : (70–50), и достигает значений  $80\text{--}87 \text{ л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ . Следует отметить, что мембраны с самой высокой удельной производительностью были получены из формовочных композиций на основе смесей ПФС и ПС, которые при осаждении формируют эмульсии с наиболь-

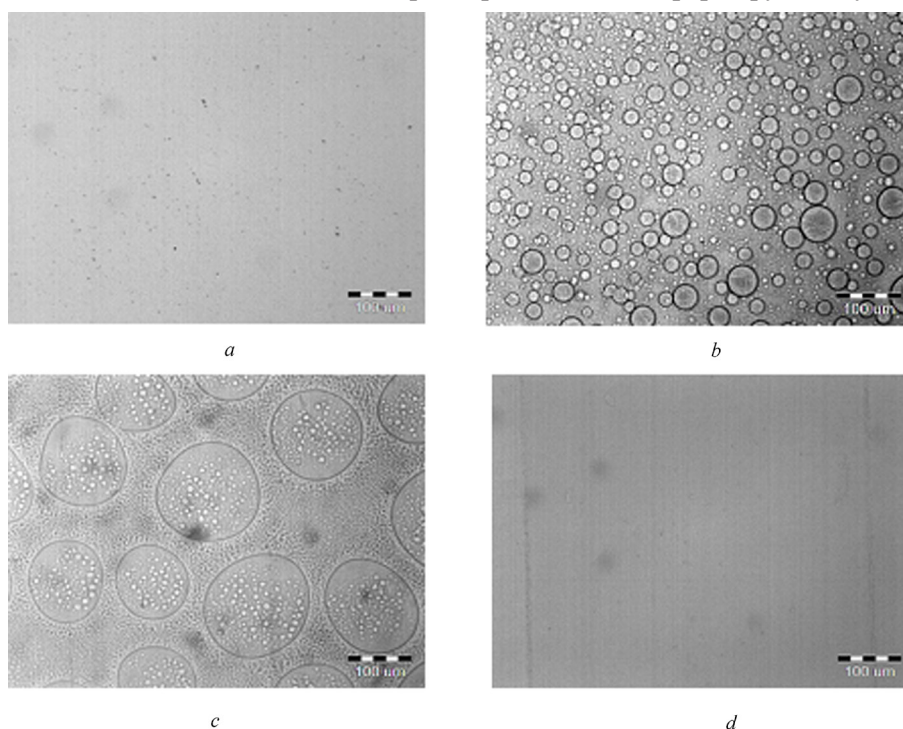


Рис. 2. Микрофотографии 20 %-ных растворов ПФС, ПС и их смесей, полученные методом оптической микроскопии; соотношение ПФС : ПС, %: *a* – 100 : 0; *b* – 60 : 40, *c* – 40 : 60, *d* – 0 : 100.

Fig. 2. Microphotographs of 20 %-solutions of polymers (polyphenylsulfone, polysulfone and their blends) by the optical microscopy method; the polyphenylsulfone: polysulfone ratio, %: *a* – 100 : 0; *b* – 60 : 40, *c* – 40 : 60, *d* – 0 : 100



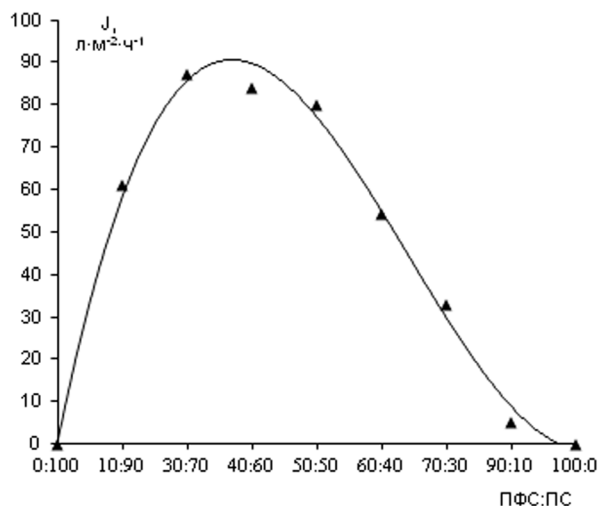


Рис. 3. Зависимость удельной производительности мембран по воде ( $J$ ) от соотношения ПФС : ПС в смеси

Fig. 3. Dependence of pure water flux of blend membranes ( $J$ ) on the polyphenylsulfone: polysulfone ratio in the polymer blend

шим размером капель (НМЧ) (рис. 1, 2). По-видимому, эти особенности структуры растворов смесей полимеров при получении мембран методом инверсии фаз приводят к тому, что на процесс фазового разделения жидкость–жидкость (фаза с высокой концентрацией полимера – фаза с низкой концентрацией полимера) накладывается процесс фазового разделения полимер–полимер (ПС–ПФС), что приводит к формированию более пористой структуры селективного слоя мембраны.

Методом СЭМ установлено, что мембраны на основе смесей ПФС и ПС характеризуются выраженной асимметричной структурой, типичной для мембран, полученных методом инверсии фаз [3]. В мембране присутствует тонкий скин-слой, строение которого определяет основные транспортные свойства мембран: производительность и задерживающую способность (рис. 4, *b*). У всех исследуемых мем-

бран за скин-слоем следует высокопористый дренажный слой, выполняющий роль поддерживающей подложки и отвечающий за механическую прочность. Структура дренажного слоя представляет собой пенивидную матрицу, пронизанную штифтообразными вакуолями.

Мембраны на основе смесей полимеров характеризуются наличием крупных вытянутых полостей в субструктуре матрицы мембраны, формирование которых связано с особенностями структуры растворов смесей полимеров (большой размер НМЧ/наличие двух фаз), что влияет на протекание процесса инверсии фаз при получении мембран.

Следует отметить, что достигнутые значения удельной производительности мембран на основе смесей ПФС и ПС ( $80\text{--}87\text{ л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ ) при трансмембранном давлении 1 атм значительно превосходят характеристики ультрафильтрационных мембран на основе смеси ПФС и ПС, опу-

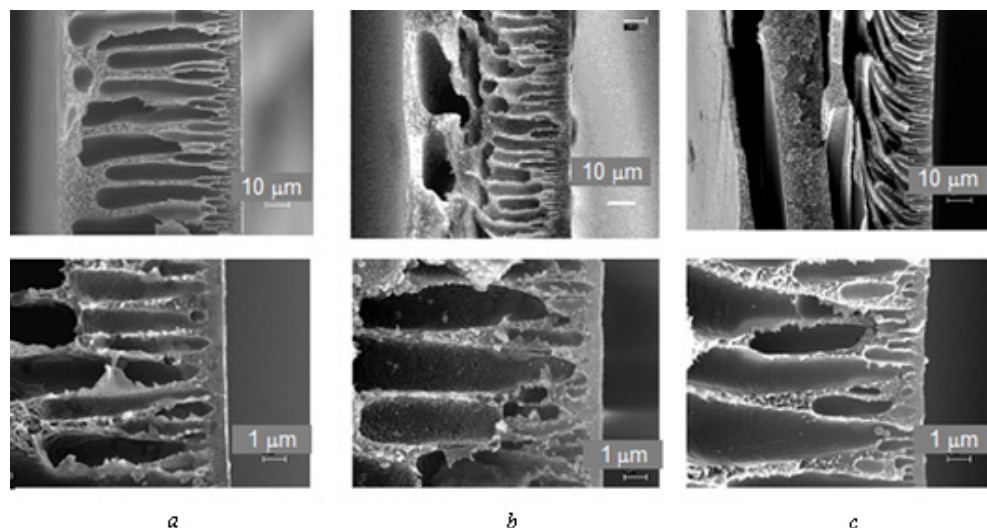


Рис. 4. СЭМ-микрофотографии скола поперечного сечения и селективного слоя мембран на основе формовочных композиций состава 20 %-ных полимеров (ПФС, ПС или их смеси); соотношение ПФС : ПС в смеси, %: *a* – 0 : 100; *b* – 50 : 50; *c* – 100 : 0

Fig. 4. Scanning electron microscopy photographs of the cross section and the skin layer of blend membranes from the casting solutions containing 20 % polymers (polyphenylsulfone, polysulfone or their blends); the polyphenylsulfone: polysulfone ratio in the blend, %: *a* – 0 : 100; *b* – 50 : 50; *c* – 100 : 0

бликованные к настоящему времени ( $5 \text{ л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$ ) [7], при сохранении высокого коэффициента задерживания по ЧСА ( $R = 85 \%$ ).

**Заключение.** Проведено исследование зависимости структуры и свойств растворов смесей ПФС и ПС в МП и плоских ультрафильтрационных мембран, полученных на их основе, от соотношения полимеров в смеси. Показано, что при введении второго мембранообразующего полимера в растворы ПФС или ПС в МП средний размер и концентрация НМЧ изменяются экстремально (с максимумом и минимумом соответственно) в зависимости от соотношения ПФС и ПС в смеси. С использованием оптической микроскопии выявлено, что растворы на основе смесей ПФС и ПС представляют собой двухфазные системы с максимальным размером капель и наибольшей полидисперсностью эмульсии при соотношении ПФС : ПС = (30–60) : (70–40). Установлена взаимосвязь структуры и фазового состояния растворов смесей ПФС и ПС и транспортных свойств мембран, полученных на их основе: удельная производительность мембран на основе смесей ПФС и ПС проходит через максимум в области наиболее гетерогенной структуры формовочной композиции, что связано с наложением на процесс инверсии фаз фазового разделения «полимер–полимер». В результате введения второго мембранообразующего полимера в формовочную композицию удалось осуществить переход от мембран, не обладающих гидравлической проницаемостью, к структуре, обеспечивающей высокую удельную производительность по воде с высоким коэффициентом задерживания по ЧСА, что обусловлено формированием более пористого и тонкого скин-слоя мембраны. Достигнутые значения транспортных характеристик мембран на основе смесей ПФС и ПС значительно превосходят характеристики мембран, опубликованные в литературе.

**Благодарности.** Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-49-00101).

**Acknowledgement.** The study has been supported by the Grant of the Russian Research Foundation (Project no. 14-49-00101).

#### Список использованных источников

1. Dizman, C. Recent advances in the preparation of functionalized polysulfones / C. Dizman, M. A. Tasdelen, A. Yagci // *Polymer International*. – 2013. – Vol. 62, iss. 7. – P. 991–1007. doi.org/10.1002/pi.4525.
2. Novel polyphenylsulfone membrane for potential use in solvent nanofiltration / S. Darvishmanesh [et al.] // *J. of Membrane Science*. – 2011. – Vol. 379, iss. 1–2. – P. 60–68.
3. Influence of the blend composition on the properties and separation performance of novel solvent resistant polyphenylsulfone/polyimide nanofiltration membranes / J. C. Jansen [et al.] // *J. of Membrane Science*. – 2013. – Vol. 447. – P. 107–118. doi.org/10.1016/j.memsci.2013.07.009.
4. Preparation of solvent stable polyphenylsulfone hollow fiber nanofiltration membranes / S. Darvishmanesh [et al.] // *J. of Membrane Science*. – 2011. – Vol. 384, iss. 1–2. – P. 89–96. doi.org/10.1016/j.memsci.2011.09.003.
5. Sorption and diffusivity study of acetic acid and water in polymeric membranes / N. Jullok [et al.] // *Chemical Engineering Science*. – 2012. – Vol. 78. – P. 14–20. doi.org/10.1016/j.ces.2012.04.022.
6. The potential of pervaporation for separation of acetic acid and water mixtures using polyphenylsulfone membranes / N. Jullok [et al.] // *Chemical Engineering J.* – 2011. – Vol. 175. – P. 306–315. doi.org/10.1016/j.cej.2011.09.109.
7. Fabrication and characterization of new PSF/PPSU UF blend membrane for heavy metal rejection / I. K. Moideen [et al.] // *Desalination and Water Treatment*. – 2016. – Vol. 57, iss. 42. – P. 1–10. doi.org/10.1080/19443994.2015.1106985.
8. Design of novel ultrafiltration systems based on robust polyphenylsulfone hollow fiber membranes for treatment of contaminated surface water / K. Praneeth [et al.] // *Chemical Engineering J.* – 2014. – Vol. 248. – P. 297–306. doi.org/10.1016/j.cej.2014.02.087.
9. Tzu-Hsiang Weng. Preparation and characterization of PPSU/PBNPI blend membrane for hydrogen separation / Tzu-Hsiang Weng, Hui-Hsin Tseng, Ming-Yen Wey // *Intern. J. of Hydrogen Energy*. – 2008. – Vol. 33, iss. 15. – P. 4178–4182. doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.04.058.
10. Multilayer sulfonated polyhedral oligosilsesquioxane (S-POSS)–sulfonated polyphenylsulfone (S-PPSU) composite proton exchange membranes / B. Decker [et al.] // *Chemistry of Materials*. – 2010. – Vol. 22, iss. 3. – P. 942–948. doi.org/10.1021/cm901820s.
11. Synthesis of sulfonated polyphenylsulfone as candidates for antifouling ultrafiltration membrane / Yang Liu [et al.] // *Separation and Purification Technology*. – 2012. – Vol. 98. – P. 298–307. doi.org/10.1016/j.seppur.2012.06.031.
12. Li-Luen Hwang. Fabrication of polyphenylsulfone/polyetherimide blend membranes for ultrafiltration applications: The effects of blending ratio on membrane properties and humic acid removal performance / Li-Luen Hwang, Hui-Hsin Tseng, Jyh-Cheng Chen // *J. of Membrane Science*. – 2011. – Vol. 384, iss. 1–2. – P. 72–81. doi.org/10.1016/j.memsci.2011.09.005.
13. Кленин, В. И. Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем / В. И. Кленин, С. Ю. Щеголев, В. И. Лаврушкин. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1977. – 177 с.
14. Meek, K. M. Changes in the refractive index of the stroma and its extrafibrillar matrix when the cornea swells / K. M. Meek, S. Dennis, S. Khan // *Biophys J.* – 2003. – Vol. 85, N 4. – P. 2205–2212. doi.org/10.1016/s0006-3495(03)74646-3.

## References

1. Dizman C., Tasdelen M. A., Yagci A. Recent advances in the preparation of functionalized polysulfones. *Polymer International*, 2013, vol. 62, no. 7, pp. 991–1007. doi.org/10.1002/pi.4525.
2. Darvishmanesh S., Jansen J. C., Tasselli F., Tocci E., Luis P., Degreè J., Drioli E., Bruggen B. van der. Novel polyphenylsulfone membrane for potential use in solvent nanofiltration. *Journal of Membrane Science*, 2011, vol. 379, no. 1–2, pp. 60–68. doi.org/10.1016/j.memsci.2011.05.045.
3. Jansen J. C., Darvishmanesh S., Tasselli F., Bazzarelli F., Bernardo P., Tocci E., Friess K., Randova A., Drioli E., Bruggen B. van der. Influence of the blend composition on the properties and separation performance of novel solvent resistant polyphenylsulfone/polyimide nanofiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, 2013, vol. 447, pp. 107–118. doi.org/10.1016/j.memsci.2013.07.009.
4. Darvishmanesh S., Tasselli F., Jansen J. C., Tocci E., Bazzarelli F., Bernardo P., Luis P., Degreè J., Drioli E., Bruggen B. van der. Preparation of solvent stable polyphenylsulfone hollow fiber nanofiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, 2011, vol. 384, no. 1–2, pp. 89–96. doi.org/10.1016/j.memsci.2011.09.003.
5. Jullok N., Deforche T., Luis P., Bruggen B. van der. Sorption and diffusivity study of acetic acid and water in polymeric membranes. *Chemical Engineering Science*, 2012, vol. 78, pp. 14–20. doi.org/10.1016/j.ces.2012.04.022.
6. Jullok N., Darvishmanesh S., Luisa P., Bruggen B. van der. The potential of pervaporation for separation of acetic acid and water mixtures using polyphenylsulfone membranes. *Chemical Engineering Journal*, 2011, vol. 175, pp. 306–315. doi.org/10.1016/j.cej.2011.09.109.
7. Moideen I. K., Isloora A. M., Ismail A. F., Obaid A., Hoong-Kun Fun. Fabrication and characterization of new PSF/PPSU UF blend membrane for heavy metal rejection. *Desalination and Water Treatment*, 2015, no. 42, pp. 1–10. doi.org/10.1080/19443994.2015.1106985.
8. Praneeth K., Bhargava Suresh K., James T., Sridhar S. Design of novel ultrafiltration systems based on robust polyphenylsulfone hollow fiber membranes for treatment of contaminated surface water. *Chemical Engineering Journal*, 2014, vol. 248, pp. 297–306. doi.org/10.1016/j.cej.2014.02.087.
9. Tzu-Hsiang Weng, Hui-Hsin Tseng, Ming-Yen Wey. Preparation and characterization of PPSU/PBNPI blend membrane for hydrogen separation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2008, vol. 33, no. 15, pp. 4178–4182. doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.04.058.
10. Decker B., Hartmann-Thompson C., Carver P. I., Keinath S. E., Santurri P. R. Multilayer sulfonated polyhedral oligosilsesquioxane (S-POSS)–sulfonated polyphenylsulfone (S-PPSU) composite proton exchange membranes. *Chemistry of Materials*, 2010, vol. 22, no. 3, pp. 942–948. doi.org/10.1021/cm901820s.
11. Yang Liu, Xigui Yue, Shuling Zhang, Jiannan Ren, Lilong Yang, Qinhong Wang, Guibin Wang. Synthesis of sulfonated polyphenylsulfone as candidates for antifouling ultrafiltration membrane. *Separation and Purification Technology*, 2012, vol. 98, pp. 298–307. doi.org/10.1016/j.seppur.2012.06.031.
12. Li-Luen Hwang, Hui-Hsin Tseng, Jyh-Cherng Chen. Fabrication of polyphenylsulfone/polyetherimide blend membranes for ultrafiltration applications: The effects of blending ratio on membrane properties and humic acid removal performance. *Journal of Membrane Science*, 2011, vol. 384, no. 1–2, pp. 72–81. doi.org/10.1016/j.memsci.2011.09.005.
13. Klenin V. I., Schegolev S. Yu., Lavrushkin V. I. *Characteristic functions of light scattering of dispersed systems*. Saratov, Saratov University Publ., 1977. 177 p.
14. Meek K. M., Dennis S., Khan S. Changes in the refractive index of the stroma and its extrafibrillar matrix when the cornea swells. *Biophysical Journal*, 2003, vol. 85, no. 4, pp. 2205–2212. doi.org/10.1016/s0006-3495(03)74646-3.

## Информация об авторах

Плиско Татьяна Викторовна – ст. науч. сотрудник, Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: plisko.v.tatiana@gmail.com.

Бильдюкевич Александр Викторович – академик, д-р хим. наук, профессор, директор, Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: uf@ifoch.bas-net.by.

Исайчикова Яна Александровна – мл. науч. сотрудник, Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: radisyana@gmail.com.

Волков Владимир Васильевич – д-р хим. наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева Российской академии наук (Ленинский проспект, 29, 119991, Москва, Российская Федерация). E-mail: vvvolkov@ips.ac.ru.

## Information about the authors

Plisko Tatiana Victorovna – Senior researcher, Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: plisko.v.tatiana@gmail.com.

Bildyukevich Aleksandr Viktorovich – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, Director, Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: uf@ifoch.bas-net.by.

Isaichykava Yana Aleksandrovna – Junior researcher, Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: radisyana@gmail.com.

Volkov Vladimir Vasilevich – D. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Laboratory, Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis of the Russian Academy of Sciences (29, Leningradskaya Ave., 119991, Moscow, Russian Federation). E-mail: vvvolkov@ips.ac.ru.

## Для цитирования

Получение мембран на основе смесей полифениленсульфона и полисульфона / Т. В. Плиско [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2017. – Т. 61, № 1. – С. 54–60.

## For citation

Plisko T. V., Bildyukevich A. V., Isaichykava Y. A., Volkov V. V. Preparation of polyphenylsulfone/polysulfone blend membranes. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2017, vol. 61, no. 1, pp. 54–60. (in Russian)